

**А. П. ЧЕРНЫЙ, С. А. СЕРГИЕНКО, А. М. КРАВЕЦ, А. Л. ЮДИНА**

### **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ СТУДЕНТАМИ ЗАДАНИЙ НА КОМПЬЮТЕРНЫХ ТРЕНАЖЕРНЫХ СИСТЕМАХ ПО ЭЛЕКТРОМЕХАНИКЕ**

В статье представлен метод контроля процесса выполнения студентами заданий на виртуальных стендах-тренажерах. Выполнен анализ процесса и предложены методы оценки его эффективности основе метрик расстояния. Приведены фрагменты программной реализации в LabVIEW. С использованием метрик Ейлера, Хемминга и Чебышева разработаны критерии оценивания эффективности выполнения студентами заданий на стендах-тренажерах. Проанализировано влияние отдельных метрик на суммарный критерий оценивания. Полученные результаты позволяют количественно оценить процесс выполнения работы от «плохо» до «очень хорошо».

**Ключевые слова:** виртуальный стенд-тренажер, контроль процесса, выполнение заданий, метрики расстояния.

**О. П. ЧОРНИЙ, С. А. СЕРГІЄНКО, О. М. КРАВЕЦЬ, А. Л. ЮДИНА**

### **ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВІДПРАЦЮВАННЯ СТУДЕНТАМИ ЗАВДАНЬ НА КОМП'ЮТЕРНИХ ТРЕНАЖЕРНИХ СИСТЕМАХ З ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ**

У статті розглянутий метод контролю процесу виконання студентами завдань на віртуальних стендах-тренажерах. Виконано аналіз процесу та запропоновано методи оцінки його ефективності основі метрик відстані. Наведено фрагменти програмної реалізації в LabVIEW. З використанням метрик Ейлера, Хеммінга і Чебишева розроблені критерії оцінювання ефективності виконання студентом завдань на стендах-тренажерах. Проаналізовано вплив окремих метрик на сумарний критерій оцінювання. Отримані результати дозволяють кількісно оцінити процес виконання роботи від «погано» до «дуже добре».

**Ключові слова:** віртуальний стенд-тренажер, контроль процесу, виконання завдань, метрики відстані.

**O. CHORNYI, S. SERHIENKO, O. KRAVETS, A. YUDINA**

### **EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF THE EXECUTE OF STUDENTS TASKS ON COMPUTER TRAINING SYSTEMS IN THE SUBJECT «ELECTROMECHANICS»**

The article presents a method for controlling the process of students task execution on virtual test-simulators. The aim of the work is to assess the effectiveness of students task execution on computer-based training systems for electrical engineering; using distance metrics to determine it competencies in vocational training. An analysis of the process was performed and methods for evaluating its effectiveness based on distance metrics were proposed. Fragments of software implementation in LabVIEW were given. Using the Euler, Hemming and Chebyshev metrics, criteria was developed for evaluating the effectiveness of a student task execution on training stands. The influence of individual metrics on the total evaluation criterion was analyzed. The obtained results makes it possible to quantify the process of task execution from “bad” to “very good” and allows, to track the sequence of actions performed by students in carrying out laboratory work on the laboratory virtual training stands. According to the recorded events, the teacher can assess the degree of readiness of the student to work with real physical equipment, and also point out to him the mistakes made in the process of working with a virtual stand. The developed criteria allow to analyze the progress of the work, give an idea of the nature of the student's actions and the degree of their correctness.

**Keywords:** virtual training stands, process control, task execution, distance metrics.

**Введение.** Сегодня развитие творческих способностей и навыков самостоятельного научного познания, самообразования и самореализации личности, подготовка квалифицированных кадров, способных к творческому труду, профессиональному развитию, освоению и применению наукоемких и информационных технологий, конкурентоспособных на рынке труда является важной государственной задачей [1].

Решение этой задачи требует переноса внимания с процесса обучения на его результат, ориентацию содержания и организацию обучения, на компетентностный подход и поиск эффективных технологий его применения [2].

Формулировка результатов образования в форме компетенций, способностей выпускников выполнять те или иные профессиональные обязанности позволяет соответствовать современной тенденции высшего профессионального образования – формирования специалиста, способного быстро адаптироваться к условиям труда. [3]. При разработке новых учебных планов особое внимание должно уделяться усилению профессионально-практической составляющей подготов-

ки специалиста. Как правило, определяющим фактором для формирования профессиональных умений и навыков является лабораторный практикум.

Традиционное лабораторное оборудование кроме объективных недостатков (значительные материальные затраты на создание современного лабораторного оборудования, необходимость его обслуживания и постоянную модернизацию, ограниченные возможности для проведения экспериментальных исследований, например, исследования и анализа предаварийных и аварийных режимов, недопустимых в реальных условиях) фактически не даёт представление о ходе выполнения студентом лабораторного практикума и сводится к факту «выполнил/не выполнил». При этом студент может выполнять определённые последовательности действий неоднократно с разной степенью их правильности.

Оценка за выполненную работу дополнительно включает в себя результаты опроса или тестов. Такая оценка, с одной стороны отражает совокупные знания по данной теме, но с другой стороны представляет собой статический результат, который не отражает вре-

© А. П. Черный, С. А. Сергеев, А. М. Кравец, А. Л. Юдина, 2019

мя выполнения работы, последовательность действий, возможные ошибки при её выполнении.

В ряде работ [4-7] доказана возможность использования вместо реального оборудования виртуальных лабораторных комплексов-тренажеров – реальных физических объектов, воссозданных с помощью компьютерных систем. Они обеспечивают визуальные и звуковые эффекты на основе технологии бесконтактной информационного взаимодействия с помощью комплексных мультимедиа-операционных сред. Формы компьютерного моделирования в таких комплексах позволяют пользователю непосредственно действовать с помощью специальных сенсорных устройств и устройств управления. В том числе и фиксировать все действия студента при выполнении лабораторного практикума с последующим их анализом.

**Целью работы** является оценка эффективности выполнения студентами заданий на компьютерных тренажерных системах по электромеханике; с использованием метрик расстояния определения их компетентностей в профессионально-практической подготовке.

**Изложение основного материала.** В научных публикациях рассматриваются вопросы использования различных метрик расстояния для задач обучения [8-10]. Рассмотрим решение такой задачи на основе идентификации подобия тестового эталонного процесса  $V$  и реального  $L$ , получаемого студентом при выполнении лабораторной работы. Каждый из процессов представляет собой вектор последовательных действий – включения коммутирующей аппаратуры, при подготовке стенда к выполнению и в процессе выполнения лабораторной работы. Для синтеза критериев оценивания работы студента на основе сравнения векторов тестового и реального процессов был отобран ряд метрик [11].

Мерой сходства векторов одинаковой длины является расстояние Эйлера, инвариантное к масштабу:

$$dE = \sqrt{(L - V)^T (L - V)}, \quad (1)$$

где  $V = (v_1, v_2, v_3, \dots, v_N)$ ,  $L = (l_1, l_2, l_3, l_N)$ .

Данная метрика является интегральной характеристикой и позволяет оценить общую ошибку в работе студента.

Мерой различия векторов является расстояние Хэмминга, определяющее число позиций, в которых соответствующие символы двух последовательностей одинаковой длины различны. Таким образом, как и для расстояния Эйлера, вектора  $L$  и  $V$  должны быть предварительно приведены к одной длине. Тогда

$$VH_i = \begin{cases} 1, & L_i \neq V_i, i=1..N \\ 0, & L_i = V_i \end{cases} \quad dH = \sum_{i=1}^N VH_i, \quad (2)$$

где  $V = (v_1, v_2, v_3, \dots, v_N)$ ,  $L = (l_1, l_2, l_3, l_N)$ .

Данная метрика определяет общее количество ошибочных действий студента и может быть использована как один из показателей качества работы.

Различие векторов также может быть определено по расстоянию Чебышева как максимуму модуля разности компонент векторов  $L$  и  $V$ :

$$dCh = \max_{i=1..N} (|L_i - V_i|), \quad (3)$$

и характеризует величину максимальной ошибки студента как величину максимального нарушения требуемой последовательности действий.

С учётом приведенных метрик предложены три критерия оценивания эффективности выполнения работы студентом:

– общая ошибка  $K_{err}$ ,

$$K_{err} = \frac{1}{1 + K \cdot dE}; \quad (4)$$

– количество ошибок  $K_{am_{err}}$

$$K_{am_{err}} = 1 - \frac{dH}{L_{length}}; \quad (5)$$

– максимальная ошибка  $K_{max_{err}}$

$$K_{max_{err}} = 1 - \frac{dCh}{V_{length} - 1}, \quad (6)$$

где  $K$  – нормировочный коэффициент,  $L_{length}$  – длина вектора  $L$ ,  $V_{length}$  – длина вектора тестового эталонного процесса  $V$ .

Каждый из критериев в наилучшем случае равен единице, что соответствует абсолютному совпадению векторов тестового и реального процессов. Интегральная оценка работы студента может быть построена на основе рассмотренных критериев с учётом их равнозначности

$$M_q = \frac{1}{3} (K_{err} + K_{am_{err}} + K_{max_{err}}). \quad (7)$$

В качестве примера рассмотрим выполнение лабораторного практикума по учебной дисциплине «Теория электропривода» на основе виртуальных лабораторных тренажерных комплексов. Для определения профессиональной компетентности в практической подготовке перед студентами была поставлена задача исследования характеристик и режимов работы электропривода постоянного тока по системе «Г-Д». Лицевая панель виртуального лабораторного стенда показана на рис. 1.

На рис. 2 приведен фрагмент блок-диаграммы виртуального стенда в среде LabVIEW, которая позволяет записать в текстовый файл событие, связанное с изменением положения автомата  $QF$  на его лицевой панели.

Работа приведенного фрагмента блок-диаграммы происходит следующим образом: 1) с помощью узла «Feedback Node» («Обратная связь») определяется предыдущее состояние автомата  $QF$ ; 2) текущее состояние автомата сравнивается с предыдущим; 3) в случае если текущее значение автомата не совпадает с предыдущим, то фиксируется момент времени этого события, состояние автомата преобразуется в текстовый вид и формируется строка для данного события, которая записывается в текстовый файл log.txt.



Рассчитанное расстояние Эйлера для векторов  $L$  и  $V_r$  равно  $dE = 3.606$ . Поскольку это расстояние может быть значительно больше единицы, для расчёта критерия  $K_{err}$  необходимо выполнить нормирование полученного значения. Коэффициент нормирования может быть выбран, исходя из величины наихудшей ошибки, полученной для вектора длины  $N$ . Так, для представленной тестовой последовательности  $V$  и длины реального вектора  $N = 15$ , с учётом итогового построения правильной последовательности включений, наихудший по величине ошибки вектор реального процесса  $L_{bad}$  и соответствующий ему расширенный вектор  $V_{r_{bad}}$  будут иметь вид:

$$L_{bad} = [7 \ 7 \ 6 \ 6 \ 5 \ 5 \ 4 \ 4 \ 1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5 \ 6 \ 7]^T, \\ V_{r_{bad}} = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5 \ 6 \ 7]^T.$$

Рассчитанное для пары  $L_{bad}$  и  $V_{r_{bad}}$  расстояние Эйлера  $dE_{bad} = 13.115$  и является наихудшим для  $N=15$ . Поскольку после всех переключений требуемый результат достигнут, и необходимая последовательность переключений построена, данная работа должна быть оценена минимальной положительной оценкой  $K_{err_{min}} = 0.6$  и нормировочный коэффициент рассчитан в соответствии с (4):

$$K_{err_{min}} = \frac{1}{1 + K dE_{bad}}; \quad K = 0.051.$$

Дальнейший анализ позволяет построить общую формулу для определения наихудшего расстояния Эйлера:

$$dE_{bad} = \sqrt{(N-M)M^2 + 2 \sum_{i=1}^{\frac{(N-M)}{2}} (i^2 - 2iM)}, \quad (8)$$

где  $N$  – длина вектора реального процесса,  $M$  – длина вектора тестового процесса.

Тогда нормировочный коэффициент в критерии (4) имеет вид:

$$K = \frac{2}{3 dE_{bad}}. \quad (9)$$

С учётом (4)÷(9) может быть определена нижняя граница критерия  $M_q$  при условии конечного построения правильной последовательности включений. Для заданной пары векторов  $L$  и  $V_r$  значение критерия  $M_{q_{min}} = 0.345$ , что соответствует общей неудовлетворительной оценке работы студента. Рассчитанные по формулам (1) ÷ (9) значения метрик и критериев оценивания работы приведены в таблице 1.

Постепенное улучшение интегральной оценки по мере приближения вектора реального процесса к тестовому процессу было подтверждено экспериментально. По результатам работы на лабораторном стенде был получен набор векторов  $L_1 - L_5$ , определены вектора  $V_{r1} - V_{r5}$ , по значениям которых рассчитаны итоговые значения  $M_q$ . Динамика изменения значений параметров, влияющих на интегральный критерий оценивания  $M_q$ , приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Значения метрик и критериев оценивания работы

Вектор	$dE$	$K_{err}$	$dH$	$K_{amc}$	$dCh$	$K_{maxc}$	$M_q$
$L$	3,606	0,84	7	0,533	2	0,667	0,68
$L_1$	2,646	0,877	7	0,533	1	0,833	0,749
$L_2$	3,317	0,85	5	0,615	2	0,667	0,712
$L_3$	2,236	0,894	5	0,615	1	0,833	0,782
$L_4$	2,828	0,87	2	0,778	2	0,667	0,773
$L_5$	1,414	0,93	2	0,778	1	0,833	0,848

Представленные в таблице значения отражают улучшение характеристик обучения за счёт уменьшения общей и максимальной ошибок и количества неверных действий.

Полученные результаты позволяют проанализировать влияние отдельных метрик на суммарный критерий оценивания. Так, при одинаковой максимальной ошибке (например, вектора  $L$ ,  $L_2$ ,  $L_4$ ,  $dCh = 2$ ) можно отметить увеличение значений критериев  $K_{err}$  и  $K_{amc}$  при уменьшении количества неверных действий с 7 до 2, и, соответственно, увеличение  $M_q$ . Аналогично, при одинаковом числе неверных действий (например, вектора  $L_2$ ,  $L_3$ ,  $dH = 5$ ) при уменьшении максимальной ошибки с 2 до 1 показатели качества  $K_{err}$ ,  $K_{amc}$  и  $M_q$  также улучшаются.

Представленный диапазон изменений интегрального критерия от 0.68 до 0.848 охватывает возможности оценки работы студента от «плохо» до «очень хорошо». Максимальная оценка 1 может быть получена студентом только в случае абсолютно правильно выполненной последовательности действий – в случае полного совпадения реального и тестового процессов.

**Выводы.** Предложенный метод анализа процесса выполнения студентом лабораторной работы даёт более расширенную оценку отработки лабораторного практикума, а не только констатацию факта «выполнил/не выполнил». Он позволяет отследить последовательность действий, выполняемых студентами при выполнении лабораторных работ на виртуальном стенде-тренажере. По записанным событиям преподаватель может оценить степень готовности студента для работы с реальным физическим оборудованием, а также указать ему на допущенные ошибки в процессе работы с виртуальным стендом. Разработанные критерии позволяют анализировать ход выполнения работы, дают представление о характере действий студента и степени их правильности.

Представленная модель оценки работы студента не учитывает некоторых особенностей работы на реальном стенде, которые должны быть введены в качестве дополнительных параметров. К ним относятся информативность переключателей, возможность существования различных вариантов построения тестовой последовательности, влияние длины реальной последовательности на конечную оценку. Дальнейшие исследования в области построения критериев оценивания последовательности действий будут направлены на совершенствование и детализацию модели.

## Список литературы

1. Указ Президента України Про національну доктрину розвитку освіти: прийнятий 17 квітня 2002 року № 347. Офіційний вісник України, 2002, № 16, С. 11, ст. 860, код акта 22250/2002.
2. Воробієнко П., Ложковський А. Компетентнісний підхід у вищій освіті – від теорії до практики. Вища школа. Київ: Знання. 2016, № 6. С. 13 – 20.
3. Ломакина Г. Р. Компетентностный подход как прагматико-ориентированный подход к результатам высшего образования. Теория и практика общественного развития. 2012, № 12. URL: <http://www.teoria-practica.ru/ru/12-2012.html> (дата обращения 08.02.2017).
4. Чорний О. П., Родькін Д. Й. Віртуальні комплекси і тренажери – технологія кіншої підготовки фахівців у галузі електромеханіки, автоматизації та управління. Вища школа. Київ: Знання. 2010, № 7 – 8. С. 23 – 34.
5. Загірняк М. В., Родькін Д. Й., Чорний О. П. Віртуальні лабораторні системи і комплекси – нова перспектива наукового пошуку і підвищення якості підготовки фахівців з електромеханіки. Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Кременчук: КДПУ. 2009, Вип. 2 (6). С. 8 – 12.
6. Zagirnyak M., Serhiienko S., Chornyi O. Innovative technologies in laboratory workshop for students of technical specialties. IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering. Kyiv, 2017. pp. 1216 – 1220.
7. Chornyi O., Serhiienko S., Yudyna A., Sydorenko V. The analysis of the process of the laboratory practicum fulfillment and the assessment of its efficiency on the basis of the distance function. Proceedings of the International Conference on Modern Electrical and Energy Systems. Kremenichuk, 2017. pp. 328 – 331.
8. Esposito F., Malerba D., Tamma V., Bock H.-H. Classical resemblance measures. Analysis of Symbolic Data: Exploratory Methods for Extracting Statistical Information From Complex Data / Rédacteurs H.-H. Bock and E. Diday. Springer Berlin Heidelberg, 2002. pp. 139 – 152.
9. Hong Jia, Yiu-ming Cheung A new distance metric for unsupervised learning of categorical data. IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems. 2016. Vol. 27, issue 5. pp. 1065 – 1079.
10. Баранов Г. Л., Тихонов І. В., Соболевський Г. Г. Формалізація факторів забезпечення цільової функціональної стійкості процесів навігації та управління рухом транспортних засобів у критичних ситуаціях. Водний транспорт. Київ: Вид-во КДАВТ, 2013, № 2 (17). С. 229 – 237.
11. Елена Дежа, Мишель Мари Дежа Энциклопедический словарь расстояний. Москва: Наука, 2008. 444 с.
12. Lomakina G. R. Kompetentnostnyy pohod kak pragmatiko-orientirovannyj podhod k rezul'tatam vysshego obrazovaniya. [Competence approach as a practice-oriented approach to the higher education's results]. Teoriya i praktika obshchestvennogo razvitiya [Theory and practice of social development]. 2012, issue 12. URL: <http://www.teoria-practica.ru/ru/12-2012.html> (accessed 08.02.2017).
13. Chornyi O. P., Rodkin D. Y. Virtualni kompleksi i trenazhery – tekhnolohiia kisnoi pidhotovky fakhivtsiv u haluzi elektromekhaniky, avtomatyzatsii ta upravlinnia [Virtual complexes and simulators - technology of field training of specialists in the field of electromechanics, automation and control]. Vyscha shkola [Higher school]. Kyiv: Znannia. 2010, № 7 – 8. pp. 23 – 34.
14. Zahirniak M. V., Rodkin D. Y., Chornyi O. P. Virtualni laboratorni systemy i kompleksi – nova perspektiva naukovooho poshuku i pidvyshchennia yakosti pidhotovky fakhivtsiv z elektromekhaniky [Virtual laboratory systems and complexes - a new prospect of scientific research and improvement of the quality of training of specialists in electromechanics]. Elektromekhanichni i enerho-zberihaiuchi systemy [Electromechanical and energy saving systems]. Kremenichuk: KDPU. 2009, Vyp. 2 (6). pp. 8 – 12.
15. Zagirnyak M., Serhiienko S., Chornyi O. Innovative technologies in laboratory workshop for students of technical specialties. IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering. Kyiv, 2017. pp. 1216 – 1220.
16. Chornyi O., Serhiienko S., Yudyna A., Sydorenko V. The analysis of the process of the laboratory practicum fulfillment and the assessment of its efficiency on the basis of the distance function. Proceedings of the International Conference on Modern Electrical and Energy Systems. Kremenichuk, 2017. pp. 328 – 331.
17. Esposito F., Malerba D., Tamma V., Bock H.-H. Classical resemblance measures. Analysis of Symbolic Data: Exploratory Methods for Extracting Statistical Information From Complex Data / Rédacteurs H.-H. Bock and E. Diday. Springer Berlin Heidelberg, 2002. pp. 139 – 152.
18. Hong Jia, Yiu-ming Cheung A new distance metric for unsupervised learning of categorical data. IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems. 2016, vol. 27, issue 5. pp. 1065 – 1079.
19. Baranov H. L., Tykhonov I. V., Sobolevskiy H. H. Formalizatsiia faktoriv zabezpechennia tsilovoi funktsionalnoi stiikosti protsesiv navihatsii ta upravlinnia rukhom transportnykh zasobiv u krytychnykh sytuatsiiakh [Formalization of the factors ensuring the target functional stability of the processes of navigation and traffic control of vehicles in critical situations]. Vodnyi transport [Water transport]. Kyiv: Vyd-vo KDAVT, 2013, № 2 (17). pp. 229 – 237.
20. Elena Deza, Mishel' Mari Deza Enciklopedicheskij slovar' rasstoyanij [Dictionary of Distances]. Moskva: Nauka, 2008. 444 p.

## References (transliterated)

1. Ukaz Prezidenta Ukrainy Pro natsionalnu doktrynu rozvytku osvity: pryiniaty 17 kvitnia 2002 roku № 347. [Decree of the President of Ukraine On the National Doctrine of Education Development]. Ofitsiinyi visnyk Ukrainy [Official Bulletin of Ukraine], 2002, № 16, p. 11, st. 860, kod akta 22250/2002.
2. Vorobiienko P., Lozhkovskiy A. Kompetentnisnyi pidkhid u vyshchii

## Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Чорний Олексій Петрович (Черный Алексей Петрович, Oleksii Chornyi)** – доктор технічних наук, професор, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, директор Інституту електромеханіки, енергозбереження і систем управління; м. Кременчук, Україна; ORCID 0000-0001-8270-3284; e-mail: alekseii.chornyi@gmail.com

**Сергієнко Сергій Анатолійович (Сергиенко Сергей Анатольевич, Serhiienko Serhii)** – кандидат технічних наук, доцент, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, проректор із науково-педагогічної роботи та новітніх технологій в освіті; м. Кременчук, Україна; ORCID 0000-0002-3977-5239; e-mail: serhiy.serhiyenko@gmail.com

**Кравець Олексій Михайлович (Кравец Алексей Михайлович, Oleksii Kravets)** – кандидат технічних наук, доцент, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, доцент кафедри систем автоматизованого управління і електропривода; м. Кременчук, Україна; ORCID 0000-0001-7116-5716; e-mail: mikhalych83@gmail.com

**Юдіна Анна Леонідівна (Юдина Анна Леонидовна, Anna Yudina)** – Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, старший викладач кафедри комп'ютерних і інформаційних систем; м. Кременчук, Україна; e-mail: iyusa@ukr.net

Поступила 08.06.2019